

Stage de Détection sur le détecteur dimuon d’Alice

Encadrant : Bruno Espagnon

Elisabeth Petit, François Niedercorn

Octobre 2007

Introduction

Le LHC est situé sur le site du CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire). Il sera le plus puissant accélérateur de particules au monde. Quatre détecteurs sont installés pour étudier les collisions proton-proton et plomb-plomb qui auront lieu dans l’anneau du LHC : Atlas, CMS, Alice et LHCb.

L’expérience Alice

Alice est destinée essentiellement à la recherche et l’étude du plasma de quarks et gluons (PQG ou QGP en anglais). Elle regroupe une collaboration d’environ 1000 personnes dont une équipe à l’Institut de Physique Nucléaire d’Orsay (IPNO).

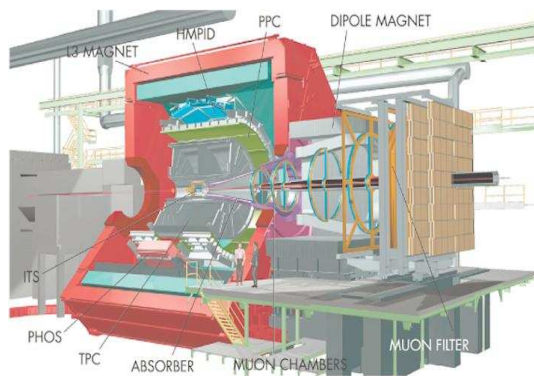


FIG. 1 – L’expérience Alice dans son ensemble

Jusqu’à quelques μs après le big-bang, les quarks et les gluons étaient déconfinés, formant un plasma. Mais l’univers en se diluant a refroidi, si bien que les quarks et les gluons se sont recombinaés au sein des baryons et des mésons. Pour observer un QGP, on doit augmenter le densité d’énergie par exemple en comprimant la matière pour avoir recouvrement des nucléons, les quarks ne savent plus à qui ils

appartiennent, ils sont libres.

Une des façons les plus efficace d’y arriver est de faire collisionner des ions lourds, c’est le ^{208}Pb qui a été choisi dans ce but au LHC.

Pour observer le QGP, on peut se servir de sondes produites aux premiers instants de la collision : le J/ψ (paire $c - \bar{c}$) et le Υ (paires $b - \bar{b}$), ainsi que leurs états excités. Les J/ψ et les Υ (ainsi que leurs états excités) traversent le plasma durant leur vie et certains disparaissent dans la traversée du plasma. En comparant le nombre de particules détectées par rapport au nombre attendu on peut donc étudier le plasma. La probabilité de disparition augmente avec la température du plasma et avec le niveau d’excitation de la particule (les états excités sont moins liés); la disparition de ces particules donne ainsi une indication sur le densité d’énergie atteinte.

Les J/ψ (comme les Υ) ont plusieurs modes de désintégration dont le canal J/ψ (ou Υ) $\rightarrow \mu^+ + \mu^-$. C’est pour étudier ce canal que l’on a conçu un spectromètre dimuon qui cherche à détecter deux muons en coïncidence.

L’IPN a contribué à la construction du bras dimuon : construction des deux chambres à fils de la station 1, conception et fabrication de l’électronique du système de trajectographie et élaboration de logiciels d’analyse, de simulation et d’acquisition des données.

1 Le Bras dimuon

Alice est divisée de 2 parties. La partie centrale constituée d’un détecteur de vertex, d’une TPC (la plus grande du monde) et de calorimètres, le tout soumis à un champ magnétique dirigé suivant l’axe du faisceau. Nous n’allons pas plus développer cette partie (sauf mention ultérieure du détecteur de vertex). La partie qui nous intéresse (et qui pourrait être un détecteur à elle seule) est le bras dimuon (à droite sur la figure 1, et figure 2). Il est

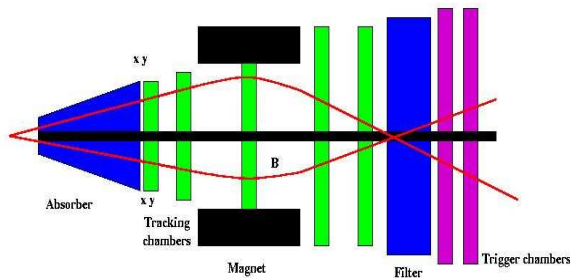


FIG. 2 – Le bras dimuon d’Alice

composé :

1) d’un absorbeur frontal : long de 4m, il est constitué de tungstène, de fer, de cuivre et d’acier. Il fournit une longueur d’interaction suffisante pour absorber la plupart des particules produites dans la collision tout en laissant passer une grande partie des muons (avec une énergie minimale d’environ 4 GeV). Il est accompagné d’un blindage le long du tube faisceau pour protéger les détecteurs des particules qui partent à petit angle. Sa conception n’a pas été aisée car il doit être le moins gênant possible pour la TPC, tout en diminuant le flux de particules de manière efficace, surtout au niveau de la station 1 (chambres 1 et 2) qui lui est quasiment accolée.

2) de 5 stations de taille croissante, constituées chacune de deux chambres à fils de type proportionnel. Les chambres des deux premières stations sont constituées de quatre quadrants. Les 8 quadrants de la station 1 ont été conçus et réalisés à l’IPN. Les trois autres stations n’ont pas adopté cette disposition en quadrants, du fait de la plus grande surface à couvrir. Elles sont formées de lattes. La surface totale couverte par ces 5 stations est de 100 m².

3) en bout de bras un filtre à muons couplé aux triggers du bras dimuon. Le trigger de L0 est donnée par le signal des RPCs (Resistive Plates Chambers) ainsi que d’autres détecteurs situés dans la partie centrale que l’on ne détaillera pas ici.

4) d’un aimant de 0.7 T dont le champ magnétique est dirigé perpendiculairement à l’axe du faisceau et qui déviara les muons verticalement, comme indiqué sur la figure 2.

5) d’un blindage extérieur pour protéger le trigger des particules qui viennent des interactions

faisceau-gaz du LHC.

Le bras dimuon permet de détecter les particules avec une impulsion transverse (p_T) faible et un angle d’émission compris entre 2° et 9°.

2 Les chambres à fils de la station 1.

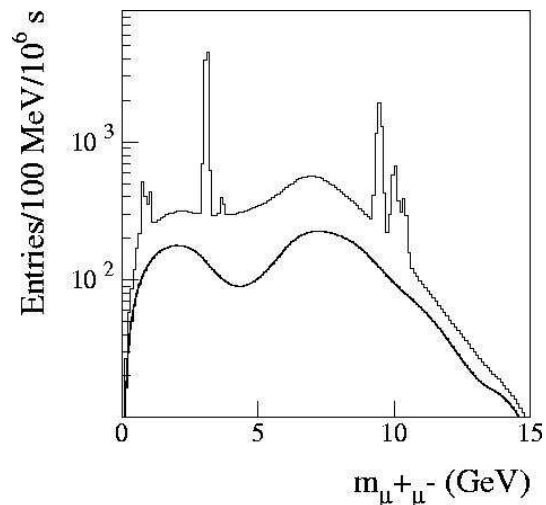


FIG. 3 – Résonances $c - \bar{c}$ et $b - \bar{b}$

Pour pouvoir observer les résonances (figure 3), il faut une résolution de 70 MeV pour le J/ψ et 100 MeV pour le Υ (environ 1%). Il faut une bonne précision sur l’impulsion transverse, et donc une bonne résolution spatiale (100 μm) dans le plan vertical (plan de déviation de l’aimant), et 700 μm dans le plan horizontal.

Pour augmenter la précision par rapport à une chambre à fils proportionnelle classique, on ne lit pas le signal d’anode (les fils) mais les signaux de cathode. La chambre est constituée d’une rangée de fils séparés de 2,1 mm et de deux plans de cathode qui sont eux même divisés en ”pads”, de quelques mm². La segmentation augmente du bord vers le centre de la chambre pour avoir un taux d’occupation moyen constant pour toutes les voies d’électronique (car il y a plus de particules émises à petit angle). Le passage d’une particule va créer un signal sur plusieurs pads, formant ainsi des clusters. Après avoir soustrait le piédestal de chaque pad, on utilise un programme de reconstruction pour sélectionner les clusters. On fait ensuite un fit dit

de Mathieson dans les directions horizontale et verticale. Le maximum du fit donne la position de passage de la particule avec une précision de 50 μm pour un faisceau perpendiculaire au plan de cathode.

On n'a pas utilisé des détecteurs au silicium, car avec une telle surface à couvrir, le coût est prohibitif. Mais surtout, on n'avait pas besoin d'une aussi bonne résolution intrinsèque, et cela aurait nécessité beaucoup plus de voies d'électronique.

L'utilisation de la technologie Micromegas a été envisagée un temps mais il est difficile de fabriquer des chambres Micromegas sur une surface de plusieurs m^2 .

Pour avoir une bonne résolution spatiale, il faut aussi connaître précisément la position des chambres les unes par rapport aux autres. C'est pourquoi un système de lasers et de caméras (global monitoring system) permet de suivre les mouvements des chambres, et de connaître leur position à 40 μm près.

La connaissance précise de la valeur du champ magnétique risque d'être aussi un facteur important dans la résolution. Il faut établir une carte des lignes de champ pour tout le système de trajectographie.

L'acceptance géométrique du bras dimuon est de 95% des particules entrant dans le spectromètre. Des tests ont été effectués au CERN pour déterminer l'efficacité de la résolution intrinsèque des chambres, à l'aide de trackers au silicium. Elle est de 94% dans une zone de 300 μm autour du point d'impact déterminé par les détecteurs silicium.

L'efficacité individuelle des chambres est une donnée importante, car l'efficacité totale de la reconstruction des traces à travers l'ensemble du système de trajectographie est lié à une convolution de l'efficacité des chambres. Ainsi, il suffit d'une légère baisse de l'efficacité des chambres pour faire chuter dramatiquement celle de reconstruction.

On arrive à une efficacité globale de 48% pour le J/ψ et de 64% pour le Υ [8].

Dans le premier prototype, chaque quadrant était enserré dans un cadre métallique, qui a été ultérieurement remplacé par un cadre en fibre de verre pour diminuer les zones mortes. La rigidité de la chambre est assurée par de la mousse haute densité et de la fibre de verre. En effet, le gaz est mis avec une légère surpression (0,5 mbar) et si la chambre est déformée, le gain est modifié car le champ électrique varie rapidement avec

l'écartement des cathodes.

La chambre est remplie avec un mélange de 80% d'argon et 20% de CO_2 . Chaque quadrant est constitué de 28000 pads. Les circuits imprimés ont été conçus de façon à être le plus fin possible afin de diminuer la longueur de radiation. En effet, l'angle de déviation des particules dépend de la longueur de radiation : $\theta \propto \sqrt{x/X_o}$, donc la résolution se dégrade quand l'épaisseur de la carte augmente.

Le bras dimuon met à contribution le détecteur de vertex pour améliorer la précision : on compare la trace reconstruite avec la position détectée du vertex, ce qui va permettre d'être plus précis sur la mesure de l'impulsion transverse.

Chaque voie électronique dissipant 13 mW, les deux premières stations dégageront environ 6 kW, le problème étant aggravé par le fait que ces deux stations sont confinées dans le cylindre qui supporte l'absorbeur frontal. Une maquette de taille réelle représentant un quart de ce cylindre a été construite et les deux stations ont été simulées par des circuits imprimés équipés de résistances chauffantes. Les mesures ont montré qu'en pratiquant un brassage d'air, les températures ne devraient pas excéder 30 ° C sur les chambres.

3 Acquisition

3.1 Chaîne d'acquisition

Les pads de cathode sont lus par groupe de 64 à l'aide d'une carte intégrée directement sur la chambre (appelée MANU). Sur ces cartes on trouve :

- 4 puces (MANASs) (Multiplexed ANALogic Signal) capables de lire les signaux de 16 pads de cathode chacune et incluant les fonctionnalités suivantes : amplification de charge, filtrage et mise en forme des signaux.

- 2 convertisseurs analogique-numérique (ADC) 12 bits.

- 1 circuit numérique spécialisé (ASIC) MARC (Muon-Arm Readout Chip) qui concentre et envoie les données et procède à la suppression de zéro (comparaison entre le signal lu et les valeurs seuil enregistrées de piédestal et de bruit provenant d'un run de calibration).

Le système de trajectographie nécessite environ 17000 cartes MANU (451 cartes pour un quadrant

de la station 1) pour traiter les 1,08 million de voies d'électronique.

Les cartes MANUs sont connectées (via le bus PATCH) aux cartes de transfert situées en bord de chambre qui permettent le transfert des données vers les CROCUS (Concentrator ReadOut Cluster Unit System).

Pour lire l'intégralité d'une chambre deux CROCUS sont nécessaires. Il faut donc 20 CROCUS pour l'ensemble du système de trajectographie.

La tâche des CROCUS est :
-de concentrer les données des chambres pour les envoyer à la DAQ (le cas échéant ils peuvent garder en mémoire quelques événements en attendant la décision de la DAQ).
-de recevoir et de répartir les signaux de triggers (fourni par le TCI (Trigger Crocus Interface)) à toute l'électronique frontale.

Les Resistive Plate Chambers (RPC) permettent de délivrer des signaux de trigger en 1 ou 2 ns. Les signaux sont envoyés à l'électronique de trigger (des cartes locales de trigger sont installées à côté du détecteur) qui compare rapidement les coordonnées mesurées dans les première et deuxième stations (des RPCs) pour déterminer l'impulsion transverse du muon. Grâce à la rapidité de décision de l'électronique (entre 600 et 700 ns) le trigger dimuon participe au trigger L0 général d'Alice.

3.2 Histoire d'un événement.

Une collision a lieu au centre du détecteur d'Alice, un J/ψ est produit. Il peut se désintégrer en émettant 2 muons. Ceux qui sont émis entre 2° et 9° dans la direction du bras dimuon et avec une impulsion transverse suffisante traversent l'absorbeur frontal puis passent à travers les 5 stations de trajectographie (en étant déviés par le champ magnétique) et enfin passent à travers le filtre à muons. Si les deux muons traversent le filtre, ils produisent un signal à travers les RPCs, c'est ce signal qui génère le trigger L0 pour le bras dimuon. Ce signal est envoyé en moins de 700 ns au trigger général d'Alice et il a $1,2 \mu s$ (à partir de la collision) pour se propager à travers les CROCUS, le bus PATCH, les cartes MANUs pour atteindre les MANASs et ainsi bloquer la lecture des centaines de milliers de pads de cathodes (ce qui impose une limitation sur la longueur des câbles).

Au bout de $40 \mu s$ tous les pads ont été lus. Le MARC a procédé à la suppression de zéro, seules les données intéressantes sont mises dans le buffer du MARC dans l'attente d'être envoyées.

Commence alors l'envoi des données numériques des MARCs (les uns après les autres) vers les DSPs via le bus de données PATCH (temps moyen $40 \mu s$). Si on reçoit un L1 rejet entre temps, on interrompt l'envoi du signal et on remet à zéro les MARCs.

Les DSPs sont des microprocesseurs qui concentrent les données. Ils ont une mémoire interne suffisante pour empiler plusieurs événements. Si un signal de L2 accept arrive, les signaux sont envoyés des DSPs à la DAQ via fibre optique (environ 150 kbyte par événement pour les 10 chambres). Si c'est un signal de L2 rejet que l'on reçoit il n'y a pas de transmission vers la DAQ et les données sont effacées des DSPs.

En moyenne il s'est écoulé $240 \mu s$, ce qui est encore à optimiser.

Les radiations peuvent provoquer des erreurs sur les cartes MANUs (inversion d'un bit de données) mais on ajoute au signal un bit de parité, ce qui permet de détecter une partie des erreurs en vérifiant la parité du signal. Le taux d'erreur est faible, environ 3 événements par heure (durant les tests au centre de protonthérapie d'Orsay). Le problème pourra venir des DSPs qui n'ont été testés qu'une fois sous radiation avec un flux de neutrons : une fois ramené au flux que l'on aura dans Alice, on a en moyenne 0,5 erreur/heure pour la station 1.

4 Le banc-test

Afin de tester les quadrants et l'électronique associée, un banc de test pour muons cosmiques a été mis en place. Les muons cosmiques ont une énergie d'environ 4 GeV. On est donc près du minimum d'ionisation, ce qui permet d'étudier la réponse du détecteur dans des conditions réalistes. Le quadrant est placé horizontalement. Au-dessus et en-dessous sont placées des raquettes de scintillateur reliées à des photo-multiplieurs. Ils fournissent alors des signaux mis en coïncidence qui servent de trigger au CROCUS.

Nous avons pu assister au test d'un quadrant. On fait une acquisition sans haute tension pour enregistrer les piédestaux. On procède ensuite à une acquisition. Le seuil pour l'enregistrement est placé à 4 fois le bruit plus le piédestal. Le logiciel d'acquisition (qui est le logiciel de DAQ d'Alice) possède en mémoire le piédestal de chaque pad.

Par ailleurs, des tests en faisceau ont été réalisés au CERN.

5 Conclusion

L'expérience Alice va bientôt commencer à prendre des données sur les premières collisions proton-proton du LHC. Le détecteur dimuon sera prêt dans les temps, avec une sensibilité optimale. Pourtant du travail sera encore nécessaire notamment au niveau de l'alignement du détecteur avec les premiers événements.

Les données physiques permettront bientôt de faire le tri dans les modèles théoriques du QGP.

Références

- [1] *Alice Performance Report, Volume 1*, Alice Collaboration, J. Phys. G : Nucl. Part. Phys. 30(2004) 1517-1763
- [2] *From Dimuon Arm Alice Internal Note*, FF - 30/08/04
- [3] *Alice Performance Report, Volume 2*, Alice Collaboration, J. Phys. G : Nucl. Part. Phys. 32 (2006) 1295-2040
- [4] *Trigger du Spectromètre dimuon de ALICE*, Pascal DUPIEUX, Lyon. Sept 2002
- [5] *Le Bras Dimuon d'Alice : les chambres de trajectographie*, Alice-Dimuon Subatech (Nantes) 18/07/03 - CENBG
- [6] *Alice Technical Proposal*, CERN/LHCC/95-71/P3, 15 December 1995
- [7] *Alice Technical Design Report*, CERN-LHCC-2004-025-ALICE-TDR-011
- [8] *Alice Technical Design Report of the Dimuon Forward Spectrometer*, CERN-LHCC-1999-022-ALICE-TDR-005